پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۹ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوم ۱۳۹۷، صفحهٔ ۱۹۰-۱۷۸

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 178-190
DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.62663

تعامل بین قارچ و باکتری محرک رشد و نقش آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

هادی خاوری[1]* و قدرت‌اله شاکرمی[2]

۱- گروه زراعت، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران
۲- گروه زراعت، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران، ghshakarami1345@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۶

چکیده

امروزه مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی‌های زیست‌محیطی و محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. در این راستا استفاده از پتانسیل حمایتی ریزجانداران خاکزی در جهت بهبود حاصلخیزی خاک و تولید پایدار محصولات کشاورزی، طی سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این آزمایش با هدف بررسی اثر کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیاقرمز، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ در منطقه بیران‌شهر لرستان اجرا شد. عوامل شامل تلقیح (با گونه‌های *Glomus etunicatum*, *G. Intraradices*, *G. mossea*) در دو سطح (تلقیح و بدون تلقیح)، مایه‌زنی (با *Azotobacter chroococcum* Strain 15) در دو سطح (مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی) و ارقام لوبیاقرمز (توده بیران‌شهر، ارقام اختر و گلی) بودند. نتایج نشان داد که اثر ازتوباکتر و میکوریزا بر تعداد غلاف در بوته، وزن۱۰۰دانه، شاخص برداشت و همچنین اثر دو جانبه میکوریزا و رقم، بر تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت ارقام لوبیا معنی‌دار و افزایشی بود. مایه‌زنی ازتوباکتر و تلقیح میکوریزا عملکرد دانه را به ترتیب ۱۲/۴ و ۲۴/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین عملکرد دانه در رقم گلی به دست آمد که نسبت به رقم اختر و توده بیران‌شهر به ترتیب ۴۵/۲ و ۵۱/۱درصد افزایش داشت. یافته‌های آزمایش نشان داد که همیاری قارچ میکوریزا و ازتوباکتر، دارای اثر افزایشی بر عملکرد گیاه لوبیا است و می‌توان در جهت تولید پایدار این محصول در نظام‌های زراعی بوم‌سازگار درنظرگرفته شوند.

واژه‌گان کلیدی: تولید پایدار، حاصلخیزی خاک، کودهای زیستی، همیاری

مقدمه

امروزه با توجه به محدودبودن اراضی قابل‌کشت و نیاز اکثر جوامع به افزایش محصولات تولیدشده در بوم‌نظام‌های رایج کشاورزی، مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر را شاهد هستیم (Sabori *et al*., 2005). بررسی میزان مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5) و پتاسیم (K_2O) حاکی از آن است که در سال۲۰۱۴، متوسط کل مصرف این کودها در سراسر جهان به ترتیب ۸۵/۵، ۳۳/۲ و ۲۰/۴ کیلوگرم در هکتار بوده است که این میزان در مقایسه با سال۲۰۰۰ به ترتیب افزایشی معادل ۳۱/۷، ۲۸/۱ و ۱۲درصد داشته است (FAO, 2015).

از طرفی افزایش سلامت و تأمین امنیت غذایی محصولات تولیدشده در بوم‌نظام‌های کشاورزی در جهت حفظ پویایی منابع بوم‌نظام‌های زراعی بر اساس اصول اکولوژیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مصرف نامتعادل و بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی (کود و سم) باعث ناپایداری در بوم‌نظام‌های زراعی شده است و پیامدهای جبران‌ناپذیر اقتصادی و زیست‌محیطی مصرف آن‌ها در کشاورزی در سراسر جهان شناخته‌شده است (Abbott & Murphy, 2007; Azarmi & Malakouti, 2014). کشاورزی پایدار با رویکرد حصول تولید پایدار در درازمدت و سازگاری با محیط، بر کاهش و یا حذف نهاده‌های شیمیایی در جهت تولید محصولات کشاورزی متکی است. هدف اصلی کشاورزی پایدار افزایش کارآیی چرخه داخلی عناصر غذایی خاک و استفاده از کودهای زیستی و آلی به‌عنوان جایگزین برای کودهای شیمیایی در جهت بهبود و پایداری عملکرد دانه و کیفیت با حفظ بهره‌وری مناسب از منابع خاک و آب در بوم‌نظام‌های زراعی است (Azarmi & Malakouti, 2014).

کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند ریزجانداران مفید خاکزی و یا به‌صورت

*نویسنده مسئول: 2006.khavari.hadi@gmail.com

فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند که به‌منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب عناصر غذایی موردنیاز گیاه در یک نظام زراعی پایدار به‌کار می‌روند و رویکرد جهانی در تولید محصولات کشاورزی به سمت تولید و به‌کارگیری این ریزجانداران در نظام‌های زراعی است (Amirabadi *et al*., 2009; Parvizi *et al*., 2014). محققان در پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که با توجه بیشتر به مدیریت خاک و بهره‌گیری از پتانسیل حمایتی ریزجانداران از گیاهان در خاک می‌توان تنوع زیستی، تأمین سلامت و به دنبال آن پویایی عناصر خاک را افزایش داد، لذا برای رسیدن به یک سیستم زراعی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که علاوه بر تأمین نیازهای گیاه، جنبه‌های اکولوژیکی سیستم را بهبود بخشند و اثرات منفی مصرف نهاده‌های شیمیایی را کاهش دهند، ضروری به نظر می‌رسد (Kizilkaya, 2008; Koocheki *et al*., 2015).

ازجمله این ریزجانداران مفید خاکزی می‌توان به گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا آربسکولار (Arbuscular Mycorrhizal) و باکتری‌های محرک رشد گیاه (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: PGPR) به‌ویژه ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum*) اشاره نمود (Kokalis-Burelle *et al*., 2002; Lekberg *et al*., 2013). قارچ‌های میکوریزا آربسکولار از مهم‌ترین ریزجانداران خاکزی همزیست با ۹۰درصد از گونه‌های مختلف گیاهی هستند که به یک راسته (Monophyletic phylum) با نام علمی *Glomero mycota* متعلق می‌باشند (Schussler *et al*., 2001). ازتوباکتر کروکوکوم متعلق به خانواده *Azotobacteracea* و از مهم‌ترین باکتری‌های آزادزی-خاکزی و هتروتروف می‌باشد که علاوه بر تثبیت نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر از طریق افزایش تحرک و قابلیت جذب عناصر غذایی و تولید فیتوهورمون‌ها موجب بهبود شرایط تغذیه و رشد گیاهان زراعی می‌شود (Mrkovacki & Milic, 2001). در اغلب پژوهش‌های مزرعه‌ای انجام‌شده نقش مفید این ریز جانداران بر گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و لوبیا، در رابطه با بهبود رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی گزارش شده است (Ardakani *et al*., 2015; Biari *et al*., 2011; Aghababaei *et al*., 2012; Rezvani Moghaddam *et al*., 2015; Koocheki *et al*., 2015; Ardakani *et al*., 2012; Ramana *et al*., 2010; Yadegari and Rahmani, 2010).

دانه حبوبات شامل گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.)، ماش (*Vigna radiate* L. Wilczek)، عدس (*Lens esculenta* Moench)، باقلا (*Vicia faba* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) جایگاه مهم و عمده‌ای در سبد غذایی دارند و جزء اصلی رژیم غذایی بسیاری از مردم دنیا محسوب می‌شوند. حبوبات علاوه بر قابلیت انبارداری مناسب، یک منبع غنی از پروتیین و مواد مغذی مانند ویتامین، نشاسته، روغن و مواد معدنی هستند. لوبیا یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی این خانواده است که دارای بالاترین سطح زیرکشت و عملکرد است (Mcclean *et al*., 2004; FAO, 2012).

این آزمایش باهدف ارزیابی میزان همیاری قارچ میکوریزا آربسکولار و ازتوباکتر کروکوکوم با گیاه لوبیا و اثر آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیاقرمز نسبت به روش‌های رایج کاشت این گیاه در شرایط آب و هوایی لرستان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه‌ای واقع در منطقه بیران‌شهر استان لرستان با عرض جغرافیایی ۳۳درجه و ۴۰دقیقه شمالی و طول جغرافیایی۴۸درجه و ۳۱دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۵۳متر از سطح دریا، با میانگین بارندگی ۵۸۳میلی‌متر و بیشینه و کمینه دمای مطلق سالانه به ترتیب ۳۶/۶ و ۰/۷-درجه سانتی‌گراد به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل تلقیح بذر با سه گونه قارچ میکوریزا آربسکولار (*Glomus etunicatum, G. Intraradices, G. mossea* M) در دو سطح (تلقیح m_1 و بدون تلقیح m_2)، مایه‌زنی با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum* Strain 15 A) در دو سطح (مایه‌زنی a_1 و عدم مایه‌زنی a_2) و ارقام لوبیاقرمز شامل توده بیران‌شهر (فرم بوته رونده و رشد نامحدود V_1)، اختر (فرم بوته ایستاده، رشد محدود و کلاس تجارتی آن Light Red Kidney V_2) و گلی (فرم بوته رونده، رشد نامحدود و کلاس تجاری V_3 Red Mexican) بودند. زمین محل اجرای آزمایش در زمان تلقیح دارای نور طبیعی و درجه حرارت ۱۱ تا ۲۴درجه سانتی‌گراد و در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از انجام آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ - خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of experimental field

بافت خاک Soil Texture	رس Clay	لای Silt	شن Sand	مس Cu	روی Zn	منگنز Mg	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی O.C	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	عمق Depth (cm)
		(٪)				(mg.kg^{-1})				(٪)	(٪)	(ds.m^{-1})		
سیلت رسی لوم	37	58	5	0.84	0.97	6.12	3.47	210	4.6	0.08	0.98	0.63	7.65	0-30
Silt Clay Loam	35	58	7	0.55	0.92	4.54	2.81	150	2.4	0.07	0.73	0.58	7.71	30-60

کود زیستی میکوریزا آربسکولار با پتانسیل ۱۰۰قطعه تکثیر (پروپاگول) در هر گرم، از گونه‌های مختلف (*Glomus etunicatum, G. Intraradices, G. mossea*) با نام تجاری مایکوروت از شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان (دانش‌بنیان)، باکتری ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter chroococcum* strain 15) با تراکم جمعیت (۱۰^۸ × ۵ CFU بر گرم به ازای هر میلی‌لیتر) از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (بخش تحقیقات بیولوژی خاک) و بذور ارقام لوبیا از پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان بروجرد تهیه گردید.

به‌منظور آماده‌سازی بستر کاشت و بهره‌گیری از مزایای شخم پاییزه، زمین موردنظر توسط گاوآهن برگردان‌دار در پاییز سال۱۳۹۴ یک‌بار و پس از مساعدشدن هوا و گاوروشدن زمین در اواخر اردیبهشت‌ماه سال۱۳۹۵ یک‌بار شخم زده شد. واحدهای آزمایشی با ابعاد ۵×۲/۵ متر و جوی و پشته‌ها با عرض۵۰سانتی‌متر ایجاد شد. فاصله بین واحدهای آزمایشی یک متر و بین بلوک‌ها دو متر درنظرگرفته شد. به‌منظور کاشت بذور با توجه به شرایط حساس جوانه‌زنی گیاه لوبیا آبیاری پیش از کاشت انجام شد. پس از گذشت پنج روز با گاوروشدن زمین، بذور در تاریخ ۱۴خرداد۱۳۹۵ به روش هیرم‌کاری (نم‌کاری)، به‌صورت دستی در خطوطی با طول پنج متر با فاصله ردیف ۵۰سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و با تراکم ۴۰بوته در مترمربع در عمق پنج تا شش سانتی‌متری خاک کشت شد. ماده تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار به میزان ۱۰۰کیلوگرم در هکتار استفاده شد؛ به این صورت که پس از ایجاد شیار مقدار مشخص‌شده از ماده تلقیح در طول خط کاشت و با عمق دو سانتی‌متری زیر بذور ریخته شد و سپس روی آن با خاک پوشانده شد. مایه‌زنی با مایه‌تلقیح مایع ازتوباکتر کروکوکوم در سایه انجام گردید. به‌منظور مایه‌زنی بذرها، قبل از کاشت میزان بذر موردنیاز محاسبه و در داخل ظروف پلاستیکی ریخته شد. سپس برای چسبندگی بیشتر با سلول‌های باکتری، با مایع صمغ عربی به نسبت ۲۰میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم بذر آغشته شدند. مایه‌تلقیح مایع به نسبت ۵۰میلی‌لیتر برای هر کیلوگرم بذر اضافه شد و برای تکمیل مایه‌زنی به‌طور کامل مخلوط شد و درنهایت بذرها پس از گذشت مدت۳۰دقیقه با خشک‌شدن نسبی کشت شدند. آبیاری با روش نشتی (فارویی) در طی مراحل رشد و نمو بر اساس شرایط اقلیمی منطقه و نیاز زراعی گیاه با حجم ۵۴مترمکعب در یک ساعت با دبی آب ۱۵لیتر در ثانیه با موتور پمپ آب سه‌اینچ گازوئیلی ساخت کمپانی روبین سوبارو کشور ژاپن انجام شد. اولین آبیاری پس از خروج جوانه‌ها و استقرار کامل گیاهچه‌ها در ۱۴روز پس از کاشت و مراحل بعدی آبیاری هر هفت روز یک‌بار انجام شد. میانگین حجم آب مصرفی در طی دوره رشد و نمو ارقام لوبیا با احتساب مرحله خاک آب (قبل از کاشت) در حدود ۱۶۹۱۸/۲مترمکعب در هکتار و میانگین تعداد دفعات آبیاری تا پایان فصل رشد ۱۶مرحله بود. با توجه به اهداف توسعه پایدار در کشاورزی مبارزه با علف‌های‌هرز به‌صورت وجین دستی در دو مرحله قبل از شروع گلدهی و در زمان گلدهی کامل بوته‌ها انجام شد. همچنین در مراحل رشد بوته‌ها از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی شامل آفت‌کش و قارچ‌کش استفاده نشد. در پایان فصل رشد، برداشت محصول با درنظرگرفتن اثر حاشیه (حذف دو خط کناری و۵۰سانتی‌متر از بالا و پایین هر خط کاشت) بوته‌ها در سطح پنج مترمربع انجام و عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. اجزای عملکرد لوبیا شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن۱۰۰دانه با انتخاب تصادفی تعداد ۱۰بوته (۵۰ سانتی‌متر طولی) از هر واحد آزمایشی تعیین شدند. همچنین برای محاسبه شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی ضربدر عدد۱۰۰ استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver 9. 1. 3 تجزیه واریانس گردید و مقایسه میانگین تیمارهای موردبررسی نیز با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده گردید.

نتایج و بحث

اثر ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ازتوباکتر و میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در رقم گلی و کمترین تعداد غلاف در بوته در رقم اختر مشاهده شد (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل ازتوباکتر و میکوریزا نشان داد که تعداد غلاف در بوته در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر و تلقیح میکوریزا نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر و بدون تلقیح میکوریزا افزایش ۴۱/۷درصدی داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاربرد توأم کودهای زیستی از طریق تقویت و بهبود استقرار گیاهچه‌ها، جذب بهینه آب و مواد غذایی به‌واسطه‌ی توسعه‌ی بیشتر ریشه‌ها و افزایش کارآیی فتوسنتز، سبب بهبود فرآیند گلدهی و افزایش توان تولید در گیاه شده و تعداد غلاف در بوته را نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی ازتوباکتر در بدون تلقیح میکوریزا به‌طور معنی‌داری افزایش داده است که با نتایج دیگر محققان در رابطه با افزایش تعداد غلاف در بوته بر گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) و گیاه لوبیا مطابقت دارد (Rokhzadi *et al*., 2008; Mahmoud *et al*., 2010; Nazeri *et al*., 2010).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ازتوباکتر (A)، میکوریزا (M) و رقم (V) بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیاقرمز

Table 2. Analysis of Variance (mean square) the effect of (A) *Azotobacter*, (M) *Mycorrhiza* and (V) Cultivar on yield and yield components of Red Bean Cultivars

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Number of Pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن۱۰۰دانه 100 Seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست‌توده Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
Block	3	2.52 ns	0.269 ns	239 ns	6.83 ns	26935 ns	466603 ns	10.3 ns
A	1	78.4 **	5.16 **	8638 **	2.71 ns	619845 **	2973677 *	8.40 ns
M	1	144 **	12.5 **	17753 **	147 **	2169257 **	7286003 **	74.6 **
V	2	272 **	9.45 **	11796 **	491 **	3493215 **	16731439 **	464 **
A*M	1	0.024 *	0.056 ns	198 ns	56.24 **	151727 ns	34859 ns	33.4 *
A*V	2	15.2 ns	0.202 ns	274 ns	8.69 ns	75924 ns	265259 ns	10.6 ns
M*V	2	16.0 ns	1.00 *	105 ns	18.5 *	120541 ns	28518 *	23.9 *
A*M*V	2	2.83 ns	0.249 ns	112 ns	2.58 ns	1673 *	248925 ns	16.7 ns
Error	33	7.90	0.267	237	4.80	95415	677341	6.79
V (%).C	-	16.1	12.3	18.7	6.43	15.8	13.6	8.09

ns, *, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

A، M و V به ترتیب ازتوباکتر کروکوکوم، میکوریزا آربسکولار و ارقام لوبیاقرمز

ns: non significant; *: significant at P≤0.05; **: significant at P≤0.01

A, M and V: *Azotobacter chroococcum*, *Arbuscular Mycorrhiza* and Red Bean Cultivars, respectively

تعداد دانه در غلاف یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد لوبیا است. با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل میکوریزا در رقم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی ازتوباکتر تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌نحوی‌که تعداد دانه در غلاف در تیمار مایه‌زنی با ازتوباکتر ۱۷/۱درصد بیشتر از عدم مایه‌زنی بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که مایه‌زنی بذر ارقام لوبیا با ازتوباکتر از طریق بهبود رشد، توسعه اندام‌های فتوسنتزکننده و همچنین میزان کلروفیل برگ سبب اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی شده که باعث افزایش طول غلاف و درنتیجه تعداد دانه در غلاف شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تلقیح با کود زیستی میکوریزا آربسکولار سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف گیاه لوبیا شد، به‌نحوی‌که تعداد دانه در غلاف در تیمار تلقیح میکوریزا در رقم اختر نسبت به تیمار بدون تلقیح، افزایش ۴۰/۱درصدی داشت (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد دانه در غلاف در تیمار تلقیح میکوریزا در توده بیران‌شهر و رقم گلی نسبت به تیمار بدون تلقیح میکوریزا در توده بیران شهر و رقم گلی به ترتیب ۲۰/۳ و ۲۱/۶درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). در خصوص افزایش تعداد دانه در غلاف می‌توان بیان داشت که همزیستی با میکوریزا آربسکولار با فراهم‌نمودن آب کافی برای رشد و توسعه بهتر اندام‌های گیاه، باعث بهبود گلدهی و تشکیل غلاف بارور و درنتیجه تولید تعداد بیشتر دانه در غلاف شد. در بین ارقام مورد مطالعه نیز اختلاف معنی‌داری

ازنظر تعداد دانه در غلاف وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در غلاف در رقم اختر و کمترین آن در توده بیران-شهر به دست آمد (جدول ۴). پژوهشگران گزارش کردند که در بین ارقام برنج تلقیح‌شده با کود زیستی میکوریزا نیز تفاوت معنی‌داری به لحاظ تعداد دانه در خوشه وجود دارد (Ardakani *et al*., 2012). دیگر محققان نیز گزارش نمودند که ارقام لوبیاقرمز با تیپ رشدی متفاوت، به لحاظ تعداد دانه در غلاف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (Ardakani *et al*., 2011) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین نتایج نشان داد که بین مایه‌زنی ازتوباکتر و عدم مایه‌زنی، از نظر اثر آن روی تعداد دانه در بوته تفاوت زیادی مشاهده شد، به‌طوری‌که تعداد دانه در بوته در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر نسبت به عدم مایه‌زنی، افزایش ۳۹/۱درصدی داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد تثبیت زیستی نیتروژن ناشی از مایه‌زنی با ازتوباکتر سبب بهبود رشد گیاه و اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتری به رشد زایشی و تولید دانه شده است که این افزایش تعداد دانه می‌تواند در عملکرد گیاه مؤثر واقع شود. بررسی‌های متعدد نشان می‌دهد که کاربرد کودهای زیستی حاوی ازتوباکتر سبب افزایش تعداد دانه گردیده است (Leithy *et al*., 2006; Rashidi *et al*., 2012; Rezaei-chiyaneh *et al*., 2015).

مقایسه میانگین نتایج نشان داد که تلقیح با قارچ میکوریزا آربسکولار باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته ارقام لوبیاقرمز در مقایسه با تیمار شاهد (بدون تلقیح) شد، به‌طوری‌که تعداد دانه در بوته در تیمار تلقیح با قارچ نسبت به تیمار بدون تلقیح، افزایش معنی‌دار ۶۱/۲درصدی را نشان داد (جدول ۳). استفاده از کود زیستی میکوریزا آربسکولار با افزایش سطح جذب سیستم ریشه‌ای دسترسی به عناصر ضروری (فسفر و نیتروژن) را برای رشد مطلوب گیاه را تسهیل می‌کند که افزایش تعداد دانه در بوته در تیمار تلقیح میکوریزا می‌تواند ناشی از بهبود خصوصیات خاک و افزایش دسترسی به عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عناصر ریزمغذی از طریق توسعه ریشه باشد. در این رابطه نتایج مشابهی توسط سایر محققان در گیاه لوبیا گزارش‌شده است (Mahmoud *et al*., 2010). همچنین مقایسه میانگین نتایج نشان داد که در بین ارقام موردمطالعه نیز از نظر تعداد دانه در بوته تفاوت زیادی مشاهده شد، به‌نحوی‌که رقم گلی و توده بیران‌شهر به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد دانه در بوته را داشتند. تعداد دانه در بوته در رقم اختر نیز به‌طور تقریبی حد واسط توده بیران‌شهر و رقم گلی بود (جدول ۳). رقم گلی با توجه به فرم بوته رونده و رشد نامحدودبودن نسبت به رقم اختر با فرم بوته ایستاده و رشد محدود توانست تعداد دانه بیشتری تولید نماید که می‌توان این اختلاف را به پتانسیل تولید غلاف بیشتر ارقام رونده نسبت به ارقام نیمه رونده و ایستاده نسبت داد. در مورد توده بیران شهر با فرم بوته رونده و رشدنامحدود نیز این اختلاف تولید دانه را می‌توان به پتانسیل تولید بهتر ارقام اصلاح‌شده نسبت به توده‌های محلی نسبت داد (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008). در یک بررسی بر گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) بیشترین تعداد دانه در خوشه و تعداد گلچه بارور در رقم بی‌نام به ترتیب با تعداد ۱۱۲/۱۴ و ۸۷/۹۲ و کمترین تعداد دانه در خوشه و تعداد گلچه بارور در رقم طارم هاشمی به ترتیب با مقدار ۷۴/۸۶ و ۸۱/۵۵ به دست آمد که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Ardakani *et al*., 2012).

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر میکوریزا، رقم و اثر متقابل ازتوباکتر و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل میکوریزا و رقم در سطح احتمال پنج درصد بر وزن۱۰۰دانه معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین مایه‌زنی ازتوباکتر در تلقیح میکوریزا و عدم مایه‌زنی ازتوباکتر در بدون تلقیح میکوریزا تفاوت معنی داری وجود داشت، به‌طوری‌که وزن۱۰۰دانه گیاه لوبیا افزایش ۱۲درصدی داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف اثر دوجانبه میکوریزا و رقم بر روی وزن۱۰۰دانه گیاه لوبیا بود، به‌طوری‌که بیشترین وزن۱۰۰دانه در تیمار تلقیح میکوریزا در رقم اختر و کمترین آن در تیمار بدون تلقیح میکوریزا در توده بیران‌شهر مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که کاربرد توأم کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر توانست از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ در مرحله دانه‌بندی زمینه را برای دوام فتوسنتز و تخصیص بهتر مواد فتوسنتزی (آسیمیلات‌ها) به دانه‌ها فراهم نماید که این موضوع موجب افزایش وزن دانه شده است. محققان نیز در بررسی اثر کودهای زیستی بر گیاه ماش (*Vigna radiate* L.) و گیاه لوبیا نتایج مشابهی در رابطه با افزایش وزن دانه گزارش نموده‌اند (Asad *et al*., 2004; Yadegari *et al*., 2008).

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ازتوباکتر، میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سه‌گانه ازتوباکتر در میکوریزا در رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با ازتوباکتر کروکوکوم به لحاظ افزایش عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری

وجود دارد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر نسبت به شرایط عدم مایه‌زنی، افزایش ۱۲/۴درصدی نشان داد (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین تلقیح با میکوریزا آربسکولار و بدون تلقیح نیز تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌نحوی‌که عملکرد دانه در تیمار تلقیح با میکوریزا آربسکولار نسبت به شرایط بدون تلقیح، افزایش ۲۴/۵درصدی داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای موردبررسی در این آزمایش (جدول ۳) تفاوت معنی‌داری را در بین ارقام لوبیا به لحاظ عملکرد دانه نشان داد. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در رقم گلی به دست آمد که نسبت به رقم اختر و توده بیران‌شهر به ترتیب ۴۵/۲ و ۵۱/۱درصد افزایش داشت (جدول ۳). همچنین پایین‌ترین عملکرد دانه از توده بیران‌شهر به دست آمد که در مقایسه با رقم اختر در حدود چهار درصد کاهش تولید اقتصادی را نشان داد (جدول۳). عملکرد دانه در گیاه لوبیا تابع فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیک است و بیشترین عملکرد دانه در شرایطی به دست می‌آید که تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن۱۰۰دانه در حداکثر مقدار خود باشد. در خصوص اثر ازتوباکتر و میکوریزا می‌توان بیان داشت که این ریزجانداران خاکزی می‌توانند از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (فسفر و نیتروژن) سبب بهبود کارآیی فتوسنتز در گیاه شوند که درنتیجه موجب بهبود رشد و به دنبال آن افزایش در عملکرد دانه و اجزاء عملکرد می‌شود (Behl *et al*., 2006). نتایج این آزمایش نشان‌دهنده آن است که افزایش عملکرد دانه در تیمار تلقیح میکوریزا و مایه‌زنی با ازتوباکتر می‌تواند به دلیل همیاری این ریزجانداران با گیاه لوبیا باشد که توانسته‌اند از طریق بهبود در اجزای عملکرد، سبب افزایش معنی‌داری عملکرد دانه گردد. در خصوص تفاوت بین عملکرد دانه در ارقام لوبیا نیز می‌توان بیان داشت که ارقام اصلاح‌شده (گلی و اختر) از پتانسیل تولید بالاتری نسبت به ارقام بومی و توده‌های محلی (توده بیران‌شهر) برخوردارند که می‌تواند دلیل اصلی این تفاوت در عملکرد دانه در بین این ارقام باشد. در رابطه با اختلاف عملکرد دانه در بین ارقام اصلاح‌شده اختر و گلی نیز می‌توان بیان داشت که این تفاوت می‌تواند به دلیل تفاوت در فرم رویشی بوته‌ها (گلی رونده و رشد نامحدود) و (اختر ایستاده و رشدمحدود) در این ارقام باشد. در پژوهش‌های مزرعه‌ای انجام‌شده نتایج مشابهی توسط دیگر محققان بر گیاه ذرت، گیاه آفتابگردان، گیاه گلرنگ و گیاه کنجد، در رابطه با نقش این کودهای زیستی در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی گزارش‌شده است (Biari *et al*., 2011; Aghababaei *et al*., 2012; Rezvani Moghaddam *et al*., 2015; Koocheki *et al*., 2015).

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ازتوباکتر در سطح احتمال پنج درصد، اثر میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل میکوریزا و رقم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد زیست‌توده گیاه لوبیا معنی‌دار گردید (جدول۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مایه‌زنی با ازتوباکتر سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد زیست‌توده ارقام لوبیا در مقایسه با بوته‌های عدم مایه‌زنی شد. بیشترین عملکرد زیست‌توده در تیمار مایه‌زنی با ازتوباکتر مشاهده گردید که نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی با ازتوباکتر، افزایش ۸/۶درصدی داشت (جدول ۳). ازتوباکتر کروکوکوم به‌عنوان یکی از مهم ترین باکتری‌های آزادزی-خاکزی از طریق قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن و تولید فیتوهورمون‌های گیاهی سبب تحریک رشد، افزایش جذب مواد غذایی و کارایی فتوسنتز در گیاه می شود. مایه‌زنی با ازتوباکتر کروکوکوم توانست از طریق توسعه شاخسار و افزایش تعداد برگ‌های فعال در بوته موجب افزایش رشد و عملکرد زیست‌توده در گیاه لوبیا گردد. نتایج پژوهش های انجام‌شده در خصوص پاسخ گیاهان زراعی به ازتوباکتر کروکوکوم نشان‌دهنده افزایش ویژگی‌های رشد و عملکرد زیست‌توده گیاه گندم و جو (*Hordeum vulgare* L.)، گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) و گیاه ذرت است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Baris *et al*, 2014; Ebrahimi *et al*., 2007; Zahir *et al*., 2005).

بررسی اثر متقابل میکوریزا و رقم بر عملکرد زیست‌توده ارقام لوبیا نشان داد که تلقیح با کود زیستی میکوریزا آربسکولار تفاوت معنی‌داری را در عملکرد زیست‌توده ارقام لوبیا در مقایسه با بوته‌های بدون تلقیح این گیاه نشان داد. بیشترین عملکرد زیست‌توده در تیمار تلقیح میکوریزا در رقم گلی و پایین‌ترین عملکرد زیست‌توده در تیمار بدون تلقیح میکوریزا در رقم اختر بود (جدول ۴). همزیستی میکوریزایی با ارقام لوبیاقرمز موردمطالعه (توده بیران‌شهر، ارقام اختر و گلی) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده نسبت به تیمار بدون تلقیح با کود زیستی میکوریزا آربسکولار به ترتیب ۱۳/۴، ۱۵ و ۱۳/۲درصد شد (جدول ۴). تلقیح با میکوریزا آربسکولار سبب افزایش عملکرد زیست‌توده ارقام لوبیا شد. در خصوص اثر همزیستی میکوریزایی بر عملکرد زیست‌توده ارقام لوبیا، می توان بیان داشت که این رابطه از طریق بهبود رشد ریشه‌ها و افزایش میزان کلونی‌زایی توانسته است از طریق افزایش سطح جذب سیستم ریشه‌ای و نفوذ بهتر میسلیوم‌های تشکیل‌شده قارچ در بخش‌های غیرقابل‌دسترس آن برای گیاه (Mazid & Khan, 2014) موجب بهبود رشد، توسعه بیوماس گیاهی، افزایش ماده خشک و درنتیجه افزایش عملکرد زیست‌توده

بوته‌های میکوریزایی در مقایسه با بوته‌های غیر میکوریزایی گیاه لوبیا گردد. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که کودهای زیستی حاوی قارچ میکوریزا آربسکولار اثر مثبت و معنی‌داری بر ویژگی‌های رشد و افزایش عملکرد زیست‌توده گیاهان زراعی دارد (Pezeshkpour *et al*., 2014; Jeiriaei *et al*., 2014; Valadabadi & Aliabadi Farahani, 2013).

شاخص برداشت بیان‌کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد زیست‌توده گیاهان زراعی است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر میکوریزا و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ازتوباکتر در میکوریزا و میکوریزا در رقم در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین اثر توأم مایه‌زنی ازتوباکتر در تلقیح میکوریزا آربسکولار و عدم مایه‌زنی ازتوباکتر در بدون تلقیح میکوریزا آربسکولار تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌نحوی‌که شاخص برداشت در تیمار مایه‌زنی ازتوباکتر در تلقیح میکوریزا آربسکولار، ۱۰/۶درصد افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد توأم کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر سبب افزایش شاخص برداشت ارقام لوبیا شد که نشان‌دهنده نقش این ریزجانداران مفید خاکزی در تقویت کارآیی توزیع و انتقال آسیمیلات‌های (Assimilate) ساخته‌شده در بین اندام‌های گیاه به‌ویژه اندام های اقتصادی است. به نظر می‌رسد تعامل بین میکوریزا آربسکولار و ازتوباکتر کروکوکوم باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه لوبیا و اختصاص آسیمیلات‌ها (مواد فتوسنتزی) به مخازن ذخیره‌ای گیاه (دانه‌ها) شده است که شاخص برداشت را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (Kennedy & Tchan, 1992). در رابطه با نقش مثبت به‌کارگیری قارچ‌های میکوریزا آربسکولار و باکتری‌های محرک رشد گیاهی بر افزایش عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت گیاهان زراعی نتایج مشابهی توسط دیگر محققان بر گیاه روغنی گلرنگ و گیاه لوبیا گزارش شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Dahmardeh *et al*., 2016; Ardakani *et al*., 2011).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تلقیح با کود زیستی میکوریزا آربسکولار سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در ارقام گیاه لوبیا شد. بیشترین افزایش شاخص برداشت در تیمار تلقیح میکوریزا در رقم گلی مشاهده شد که نسبت به تیمار بدون تلقیح، افزایش ۱۱/۷درصدی داشت (جدول ۴). شاخص برداشت در توده بیران‌شهر و رقم اختر نیز با تلقیح کود زیستی میکوریزا تفاوت مثبت و معنی‌داری را در مقایسه با تیمار بدون تلقیح نشان داد. شاخص برداشت در تیمار تلقیح میکوریزا در توده بیران‌شهر و رقم اختر نسبت به تیمار بدون تلقیح میکوریزا به ترتیب ۱۵/۸ و ۹/۶درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی ازتوباکتر (A)، میکوریزا (M) و رقم (V) بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیاقرمز

Table 3. Mean comparisons of main effects of (A) *Azotobacter*, (M) *Mycorrhiza* and (V) Cultivars on yield and yield components of Red Bean cultivars

تیمار Treatment	تعداد غلاف در بوته Number of Pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن صد دانه 100 Seed weight (gr)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیست‌توده Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
A_1	18.7 a	4.51 a	95.4 a	34.2 a	2058 a	6281 a	32.6 a
A_2	16.1 a	3.85 b	68.5 b	33.7 a	1831 a	5783 a	31.7 a
M_1	19.1 a	4.69 a	101.2 a	35.7 a	2157 a	6422 a	33.4 a
M_2	15.7 b	3.67 b	62.7 b	32.2 b	1732 b	5643 b	30.9 a
V_1	16.2 b	3.30 b	56.5 c	29.5 c	1643 b	6242 b	26.0 b
V_2	14.0 c	4.73 a	78.8 b	40.2 a	1709 b	4921 c	34.8 a
V_3	22.0 a	4.51 a	110.6 a	32.2 b	2483 a	6934 a	35.7 a

در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

A_1 و A_2 به ترتیب مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم*

M_1 و M_2 به ترتیب تلقیح و بدون تلقیح با میکوریزا آربسکولار

V_1، V_2 و V_3 به ترتیب توده بیران‌شهر، ارقام اختر و گلی

Means in each column and for each treatment followed by similar letter(s) have not significantly different at 5% probability level.
A_1 and A_2, with and without apply *Azotobacter chroococcum*, respectively
M_1 and M_2, with and without apply *Arbuscular Mycorrhiza*, respectively
V_1, V_2 and V_3, landrace Beiran Shahr, Akhtar variety and Goli variety, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل دوجانبه عامل‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیاقرمز

Table 4. Mean comparison of two factors interaction effect on yield and yield components of Red Bean cultivars

تیمار Treatment	تعداد غلاف در بوته Number of Pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن صد دانه 100 Seed weight (gr)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیست-توده Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
A_1M_1	20.4 [a]	5.05 [a]	116 [a]	37.1 [a]	2327 [a]	6698 [a]	34.7 [a]
A_1M_2	16.9 [ab]	3.96 [bc]	74.1 [b]	31.4 [b]	1790 [b]	5865 [ab]	30.5 [a]
A_2M_1	17.8 [ab]	4.33 [b]	85.7 [b]	34.4 [ab]	1988 [ab]	6146 [ab]	32.2 [a]
A_2M_2	14.4 [b]	3.37 [c]	51.4 [c]	33.1 [ab]	1675 [b]	5421 [b]	31.3 [a]
A_1V_1	18.3 [b]	3.51 [bc]	68.4 [bc]	29.2 [c]	1793 [b]	6513 [ab]	27.2 [b]
A_1V_2	14.2 [c]	5.16 [a]	89.0 [b]	40.2 [a]	1743 [b]	5032 [c]	34.5 [a]
A_1V_3	23.5 [a]	4.86 [ab]	128.7 [a]	33.3 [b]	2639 [a]	7299 [a]	36.1 [a]
A_2V_1	14.0 [c]	3.10 [d]	44.6 [c]	29.8 [c]	1492 [b]	5970 [b]	24.7 [b]
A_2V_2	13.8 [c]	4.30 [bc]	68.5 [bc]	40.2 [a]	1675 [b]	4811 [c]	35.2 [a]
A_2V_3	20.5 [ab]	4.16 [bc]	92.5 [b]	31.2 [bc]	2327 [a]	6569 [ab]	35.3 [a]
M_1V_1	18.3 [b]	3.61 [bc]	73.1 [cd]	30.1 [d]	1866 [c]	6634 [ab]	27.9 [c]
M_1V_2	14.6 [c]	5.52 [a]	98.3 [b]	42.3 [a]	1830 [c]	5267 [cd]	34.7 [ab]
M_1V_3	24.4 [a]	4.95 [a]	132 [a]	34.9 [c]	2777 [a]	7365 [a]	37.7 [a]
M_2V_1	14.0 [c]	3.00 [c]	40.0 [e]	29.0 [d]	1420 [d]	5850 [bc]	24.0 [d]
M_2V_2	13.4 [c]	3.94 [a]	59.3 [de]	38.1 [b]	1588 [cd]	4575 [d]	35.0 [ab]
M_2V_3	19.5 [b]	4.07 [b]	88.9 [bc]	29.6 [d]	2189 [b]	6503 [ab]	33.7 [b]

در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

A_1 و A_2 به ترتیب مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی با *ازتوباکتر کروکوکوم*

M_1 و M_2 به ترتیب تلقیح و بدون تلقیح با میکوریزا آربسکولار

V_1، V_2 و V_3 به ترتیب توده بیران‌شهر، ارقام اختر و گلی

Means in each column and for each treatment followed by similar letter(s) have not significantly different at 5% probability level.
A_1 and A_2, with and without apply *Azotobacter chroococcum*, respectively
M_1 and M_2, with and without apply *Arbuscular Mycorrhiza*, respectively
V_1, V_2 and V_3, landrace Beiran Shahr, Akhtar variety and Goli variety, respectively

به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی از طریق توسعه اندام‌های فتوسنتزکننده سبب تداوم کارآیی فتوسنتز می‌شود و با تقویت تولید و ذخیره مواد فتوسنتزی سبب حمایت هرچه بیشتر از گیاهان میکوریزایی برای تولید دانه با ذخایر آندوسپرمی بیشتر شده است که شاخص برداشت را در ارقام لوبیا به نحو چشمگیری افزایش داده است (Kennedy & Tchan, 1992; Ortas, 2003). محققان گزارش نمودند که همزیستی میکوریزایی سبب افزایش شاخص برداشت گیاه گندم رقم آذر۲ شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Pirdashti *et al*., 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیاقرمز تحت تأثیر عوامل به‌کاربرده‌شده قرار گرفتند. به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر از طریق رشد بهتر ریشه‌ها و شاخسار، سبب تعادل بین نمو رویشی و زایشی گیاه لوبیا شد و با بهبود صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن۱۰۰دانه، توانست عملکرد اقتصادی را در ارقام لوبیا به نحو چشمگیری بهبود بخشد. در این آزمایش عدم مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر سبب کاهش معنی دار صفات مورد بررسی شد که همیاری کودهای زیستی توانست این کاهش را که به دلیل شرایط تغذیه‌ای ایجادشده بود، جبران کند. با وجود نقش مؤثر کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیا، اثر متقابل ازتوباکتر و میکوریزا بر تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه ارقام لوبیا، اختلاف معنی داری را نشان نداد که می‌توان دلیل آن را توسعه سطح جذب ریشه‌ها از طریق افزایش میزان کلونیزاسیون ریشه در گیاه لوبیا دانست؛ به این صورت که کاربرد توأم ازتوباکتر و میکوریزا توانست حجم تارهای کشنده ریشه را در مقایسه با تیمار عدم کاربرد این ریزجانداران افزایش دهد، اما به دلیل کمبود عناصر غذایی در خاک مزرعه و برآورده‌نشدن نیاز غذایی بوته‌ها، روند یکسان و غیرمعنی‌داری را بر این صفات نشان داد. اثر متقابل

سه گانه ازتوباکتر، میکوریزا و رقم نیز از نظر تأثیر بر اجزای عملکرد گیاه لوبیا اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. این موضوع ممکن است به‌دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای و رقابت بین این ریزجانداران برای دریافت کربوهیدرات‌ها و مواد فتوسنتزی تولیدشده توسط گیاه لوبیا باشد و در نهایت سبب ایجاد روند یکسان و غیرمعنی‌دار اثر سه‌گانه بر اجزای عملکرد گیاه زراعی شد که در مواقعی این امر می‌تواند سبب کاهش غلظت عناصر کم‌مصرف در اندام‌های هوایی گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد گیاهان زراعی گردد. به نظر می‌رسد که عدم تأثیر اثر دوگانه و سه‌گانه این ریزجانداران با ارقام مورد مطالعه به‌دلیل حاصلخیزی پایین خاک محل انجام آزمایش و فراهمی اندک ماده آلی خاک برای گیاه لوبیا بوده باشد. در این خصوص می‌توان بیان داشت که تلقیح بذر گیاهان زراعی با این ریزجانداران مفید خاکزی زمانی تأثیرگذار است که شرایط محیطی و بستر خاک نیز به لحاظ فراهمی مواد آلی در محیط رشد بوته‌ها مناسب باشد تا بتوان به عملکرد مورد انتظار دسترسی پیدا کرد. در خصوص واکنش توده محلی بیران‌شهر به کاربرد کودهای زیستی نیز مشخص می‌شود که عملکرد و اجزای عملکرد در توده بیران‌شهر تحت تأثیر عوامل زراعی و تغذیه با کودهای زیستی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در این رابطه می‌توان بیان داشت که توده محلی بیران‌شهر بیشتر از عوامل ژنتیکی تأثیر می‌پذیرد و نسبت به ارقام اصلاح‌شده اختر و گلی پاسخ کمتری به شرایط تغذیه‌ای نشان می‌دهد؛ در نتیجه با توجه به اختلاف ژنتیکی، پتانسیل کودپذیری و بازده بیشتر اقتصادی از طریق اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در ارقام پرمحصول اختر و گلی نسبت به توده محلی بیران‌شهر، چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نمی‌باشد. به‌طورکلی به‌کارگیری این ریزجانداران شرایط مناسب را برای بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه لوبیا فراهم نمود که با توجه به اهداف تولید پایدار در زراعت این گیاه و همچنین در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی در بوم‌نظام‌های زراعی پایدار، می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری همه عزیزان مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور (بخش تحقیقات بیولوژی خاک) و همچنین جناب آقای دکتر فرهاد رجالی (دانشیار محترم و عضو هیئت‌علمی مؤسسه) که باراهنمایی‌های ارزنده خود در تهیه مواد، لوازم و انجام این پژوهش نقش مؤثری داشته‌اند، قدردانی می‌نماییم.

منابع

1. Abbott, L.K., and Murphy, D.V. 2007. Soil Biological Fertility; A Key to Sustainable Land Use in Agriculture. Published by Springer.
2. Abo-Ghalia, H., and Khalafallah, A. 2008. Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4(5): 570-580.
3. Aghababaei, F., Raiesi, F., and Hosseinpur, A. 2012. The Influence of earthworm and arbuscular mycorrhizal fungi on microbial biomass carbon and enzyme activity in a soil contaminated with cadmium in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivation. Journal of Water and Soil 27(5): 949-962. (In Persian with English Summary).
4. Amirabadi, M., Rejali, F., Ardakani, M., and Borji, M. 2009. Effect of azotobacter and mycorrhizal fungi inoculants on the uptake of some nutrients in corn (SC 704 cultivar) at different levels of phosphorus. Iranian Journal of Soil Research (Soil & Water Science) 23(1): 107-115. (in Persian).
5. Amraei, B., Ardakani, M.R., Rafiei, M., Paknejad, F., and Rejali, F. 2015. Effect of Mycorrhiza and Azotobacter on concentration of macro elements and root colonization percentage in different cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). Biological Forum-An International Journal 7(2): 895-900.
6. Ardakani, M., Rajali, F., and Heidari, Sh. 2012. Study the effect of arbuscular biological fertilizer on yield and yield components of rice cultivars. Journal of Plant Eco physiology 4(11): 1-13. (In Persian with English Summary).
7. Asad, S.A., Bano, A., Farooq, M., Aslam, M., and Afzal, A. 2004. Comparative study of the effects of bio fertilizers on nodulation and yield characteristics of mung bean (*Phaseolus vulgaris* L.). International Journal of Agriculture & Biology 6(5): 837-843.
8. Azarmi, F., Malakouti, M.J., and Khavazi, K. 2014. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on increasing the efficiency and recovery percent of phosphate fertilizers in canola. Iranian Journal of Soil Research (formerly Soil & Water Science) 24(4): 499-507. (In Persian with English Summary).

9. Baris, O., Sahin, F., Turan, M., Orhan, F., and Gulluce, M. 2014. Use of plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) seed inoculation as alternative fertilizer inputs in wheat and barley production. Communications in Soil Science & Plant Analysis 45: 2457-2467.
10. Behl, R.K., Narula, N., Vasudeva, M., Sato, A., Shinano, T., and Osaki, M. 2006. Harnessing wheat genotype x *Azotobacter* strain interactions for sustainable wheat production in semi-arid tropics. Tropics 15(1): 123-133.
11. Biari, A., Gholami, A., and Rahmani, H.A. 2011. Effect of different plant growth promotion bacteria (*Azotobacter*, *Azospirillum*) on growth parameters and yield of field maize. Journal of Water and Soil 25(1): 1-10. (In Persian with English Summary).
12. Ebrahimi, S., Iran Nejad, H., Shirani Rad, A.H., and Akbari, G.A. 2007. Effect of *Azotobacter chroococcum* application on quantity and quality forage of rapeseed cultivars. Pakistan Journal of Biological Science 10(18): 3126-3130.
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. Statistical Pocketbook World Food and Agriculture. Available at Web site http://www.fao.org/Statistics (verified 31 Aug 2016).
14. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2012. Faostat Agriculture Data. Available at Web site http://faostat3.fao.org (verified 10 June 2013).
15. Jiriaie, M., Fateh, E., and Aynehband, A. 2014. The consequences of the application of Mycorrhiza and *Azospirillum* inoculations on yield and yield components of wheat cultivars. Journal of Agroecology 6(3): 520-528. (In Persian with English Summary).
16. Kennedy, I.R., and Tchan, Y.T. 1992. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: Recent aAdvances. Plant and Soil 141: 93-118.
17. Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33(2):150-156·
18. Kokalis-Burelle, N., Vavrina, C.S., Rosskopf, E.N., and Shelby, R.A. 2002. Field evaluation of plant growth-promoting rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida. Plant and Soil 238(2): 257-266.
19. Koocheki, A., Bakhshaie, S., Khorramdel, S., Mokhtari, V., and Taher Abadi, Sh. 2015. Effect of mycorrhiza symbiosis on yield, yield components and water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.) affected by different irrigation regimes in mashhad condition. Iranian Journal of Field Crops Research 13(3): 448-460. (In Persian with English Summary).
20. Leithy, S., El-Meseiry, T.A. and Abdallah, E.F. 2006. Effect of biofertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil yield and quality. Journal of Applied Sciences Research 2(10): 773-779.
21. Lekberg, Y., Gibbons, S.M., Rosendahl, S., and Ramsey, P.W. 2013. Severe plant invasions can increase mycorrhizal fungal abundance and diversity. International Society for Microbial Ecology (The ISME Journal) 7: 1424-1433.
22. Mahmoud, A.R., EL_Desuki, M., and Abdol_Mouty, M. 2010. Response of snap been plants to biofertilizer and nitrogen Level application. International Journal of Academic Research 2(3): 179-183.
23. Mazid, M., and Khan, T.A. 2014. Future of bio-fertilizers in Indian agriculture: an overview. International Journal of Agricultural and Food Research 3(3): 10-23.
24. Mcclean, P., Kamir, J., and Gepts, P. 2004. Genomic and Genetic Diversity in Common Bean. In: R.F. Wilson Stalker and H.T. Brummer EC (Eds.). Legume Crop Genomics. AOCS Press. Champaign, Illinois pp 60-82.
25. Mrkovacki, N., and Milic, V. 2001. Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. Annals of Microbiology 51: 145-158.
26. Nazeri, P., Kashani, A., Khavazi, K., Ardakani, M.R., Mirakhori, M., and Pour Siah Bidi, M. 2010. The effect of bio fertilizer and phosphorus fertilizer banding with Zinc on white bean (*Phaseolus vulgaris* L). Journal of Agroecology 2(1): 175-185. (In Persian with English Summary).
27. Ortas, I. 2003. Effect of selected mycorrhizal inoculation on phosphorus sustainability in sterile and non-sterile soils in the Harran Plain in South Anatolia. Journal Plant Nutrient 26: 1-17.
28. Parvizi, K., Dashti, F., Esna Ashari, M., Rejali, F., and Chiechi, M. 2014. Effect of two mycorrhizal fungi species (*Glomus mosseae* and *G. etunicatum*) on mineral nutrients uptake and mini tuber production in potato plantlets. Journal of Soil Biology 1(1): 61-69. (In Persian with English Summary).
29. Pezeshkpour, P., Ardakani, M., Paknejad, F., and Vazaan, S. 2014. Application effect of vermicompost, mycorrhizal symbiosis and biophosphate soulbilizing on physiological traits and yield of chickpea. Crop Physiology Journal 6(23): 53-65. (In Persian with English Summary).

30. Ramana, V., Ramakrishna, M., Purushotham, K., and Balakrishna Reddy, K. 2010. Effect of bio-fertilizers on growth, yield attributes and yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal Legume Research an International Journal 33(3): 178-183. Available at Web site http://www.arccjournals.com / indianjournals.com/ (verified September 2010).
31. Rashidi, Z., Zare, M.J., Rejali, F., and Mehrabi, A.A. 2012. Effect of soil tillage and integrated chemical fertilizer and biofertilizer on quantity and quality yield of bread wheat and soil biological activity under dry land farming. Electronic Journal of Crop Production 4(2): 189-206. (In Persian with English Summary).
32. Rezaei-chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Ghiyasi, M., and Amirnia, R. 2015. Effect of integrated organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions. Research in Field Crops 3(1): 55-69. (In Persian with English Summary).
33. Rezvani Moghaddam, P., Norouzian, A., and Seyyedi, S.M. 2015. Evaluation the effects of manure and mycorrhizal inoculation on grain and oil yield of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology 7(3): 331-343. (In Persian with English Summary).
34. Rokhzadi, A., Asgharzadeh, A., Darvish, F., Nour-Mohammadi, Gh., and Majidi, E. 2008. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under field condition. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 3(2): 253-257.
35. Sabori, H., Rezai, A., Mirmohammady Maibody, S.A.M., and Esfahani, M. 2005. Path analysis for rice grain yield and related traits in tow planting patterns. JWSS-Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 9(1): 113-129. (In Persian with English Summary).
36. Safapour, M., Ardakani, M.R., Khaghani, Sh., Rejali, F., Zargari, K., Changizi, M., and Teimuri, M. 2011. Response of yield and yield components of three red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to co-inoculation with *Glomus intraradices* and *Rhizobium phaseoli*. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 11 (3): 398-405.
37. Schussler, A., Schwarzott, D., and Walker, Ch. 2001. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. Mycological Research 105(12): 1413-1421.
38. Shahraki, M., Dahmardeh, M., Khamari, E., and Asgharzadeh, A. 2016. Effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* and levels of manure on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology 8(1): 59-69.
39. Valadabadi, S.A., and Aliabadi Farahani, H. 2013. Mycorrhizal fungi influence on quantitative and morphological characteristics in basil induced by phosphorus fertilizer under water deficit conditions. African Journal of Agricultural Research 8(23): 3042-3046.
40. Yadegari, M., and Asadi Rahmani, H. 2010. Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris)* seeds' inoculation with *Rhizobium phaseoli* and plant growth promoting *Rhizobacteria* (PGPR) on yield and yield components. African Journal of Agricultural Research 5(9): 792-799. Available at Web site http://www.academicjournals.org/AJAR/(verified 4 May 2010).
41. Yadegari, M., Rahmani, H.A., Noormohammadi, G. and Ayneband, A. 2008. Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds inoculation with *Rhizobium phaseoli* and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components. Pakistan Journal of Biological Sciences 11(15): 1935-1939.
42. Yaghoubian, Y., Pirdashti, H., Mohammadi Goltapeh, E., Feiziasl, V., and Esfandiari, E. 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar 2) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. Journal of Agroecology 4(1): 63-73. (In Persian with English Summary).
43. Zahir, Z.A., Arshad, M., and Frankenberger J.W.T., 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy 81: 97-168.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 178-190

Interaction between fungi and plant growth-promoting *Rhizobacteria* and their role on red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars

Khavari[1*], H. & Shakarami[1], Gh.

1. Department of Agronomy, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
(2006.khavari.hadi@gmail.com & ghshakarami1345@gmail.com, respectively)

Received: 23 February 2017
Accepted: 26 April 2017

DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.62663

Introduction

Nowadays, in conventional farming systems, due to the limited amount of cultivated land and the need for most of communities to increase the production of agricultural products, unbalanced fertilizers, especially nitrogen and phosphorus, have been consumed. The study of nitrogen (N), phosphorus (P2O5) and potassium (K_2O) fertilizers use in 2014 indicates that the average total consumption of these fertilizers worldwide is 85.5, 2.3 and 20.4 (kg. ha^{-1}), an increase of 31.7, 28.1 and 12% respectively compared to 2000. On the other hand, increasing the health and security of food products produced in agricultural systems is essential for maintaining the dynamism of ecosystem resources based on ecological principles. Unbalanced consumption and excessive demand for chemical inputs (fertilizers and pesticides) have caused instability in farmland systems and the irreparable economic and environmental consequences of their consumption in agriculture all over the world. Sustainable agriculture relies on the reduction or elimination of chemical inputs for agricultural production, with the aim of achieving long-term sustainable production and adaptation to the environment. The main objective of sustainable agriculture is to increase the efficiency of the internal cycle of soil nutrients and the use of organic and organic fertilizers as an alternative to chemical fertilizers in order to improve the stability of grain yield and quality, while maintaining the proper utilization of soil and water resources in agricultural ecosystems. Researchers have shown that more attention to soil management and the beneficial potential of microorganisms from plant to soil can enhance biodiversity, health and, consequently, the dynamics of soil elements. So, in order to achieve a sustainable agricultural system, it is necessary to use inputs that improve plant ecological aspects in addition to meeting plant needs and reduce the negative effects of chemical inputs.

Materials & Methods

This experiment was conducted as factorial layout based on a randomized complete block design with four replications during growing season of 2016 at the experimental field of Beiranshahr city of Khorramabad in Lorestan Province, Iran (48° 31' E, 33° 40' N and 1653m above the sea level). Before conducting the experiment to determine the physical and chemical properties of soil samples were collected from 0-30 and 30-60 cm depth of soil. During this experiment effects of three factors were studied: 1. Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal M (*Glomus etunicatum, G. Intraradices, G. mossea*) in tow levels (M_1= inoculation, M_2= no inoculation), 2. Inoculation with *Azotobacter chroococcum* (strain 15) A, in tow levels (A_1= inoculation, A_2= no inoculation) and 3. Different Cultivars of Red Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in three levels (V_1: Beiranshahr landrace, V_2: Akhtar and V_3: Goli varieties). The seeds were inoculated with mentioned biological compounds before culturing. Traits such as: number of pods per plant, seeds per pod, number of seeds per plant, 100 seed weight, seed yield, biological yield and harvest index were measured.

Results & Discussion

The results showed that the effect of Azotobacter and Mycorrhiza, number of pods per plant, 100 seed weight, harvest index in the red bean cultivars were significantly increased, and as well as the effect of the Mycorrhiza and cultivars, the number of seeds per pod, 100 seed weight, biological yield and harvest index Bean cultivars were significantly increased. Azotobacter and Mycorrhizal inoculation, 12.4 and 24.5 percent,

***Corresponding Author:** 2006.khavari.hadi@gmail.com

respectively Bean plant yield was increased compared to control treatment. The highest grain yield in Goli varieties were compared to the 45.2 and 51.1 percent, Akhtar varieties and Beiranshhr landrace, respectively.

Conclusions

Obtained results of this experiment showed that the yield and yield components of Red Bean cultivars were influenced by applied treatments. It seems that the use of biological fertilizers (Mycorrhizal and Azotobacter) through better root and shoot growth, the balance between vegetative and reproductive development and improvement of bean pods per plant, seeds per pod, number of seeds per plant and 100 seed weight, could bean cultivars to significantly increase of economic performance. In this experiment, avoiding the use of chemical fertilizers, especially nitrogen and phosphorus was reduced traits significantly. That biological fertilizers cooperative could this decrease was caused by created nutritional, compensation. In general, the use of these microorganism's favorable conditions for improving the yield and yield components of Bean plant provides. Generally, the application of these microorganisms provided the best conditions for improving the yield and yield components of bean plants, which, in view of the objectives of sustainable production of this plant, as well as to reduce the use of fertilizers in stable indigenous agricultural systems, could be used to be placed.

Keywords: Biological fertilizers, Cooperative, Soil fertility, Sustainable production